

Il contributo della tomografia elettrica all'esplorazione del sottosuolo in campo archeologico: il caso studio di Alba Fucens

Introduzione

Nel quadro delle indagini archeologiche condotte ad *Alba Fucens* a partire dal 2006 dalla Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Abruzzo, e su richiesta della stessa Soprintendenza, sono state realizzate, nel 2011, delle misure di tomografia elettrica in due aree distinte della città romana¹⁴: nel piazzale del santuario di Ercole e in un settore più meridionale, a ridosso della strada che conduce al cimitero, al di fuori dell'attuale area archeologica. Lo scopo delle misure geofisiche era – per l'area a ridosso del santuario – di avere informazioni sulla profondità di un pozzo già parzialmente scavato, all'epoca dell'indagine geofisica, fino ad una profondità di circa 3 m, mentre, all'esterno dell'area archeologica, si riteneva di poter acquisire informazioni su un settore finora non indagato mediante gli scavi, al fine di verificare la possibile presenza di strutture sepolte.

Geofisica e archeologia

Come noto, la geofisica trova numerose applicazioni in archeologia: i vari metodi di indagine forniscono utili indicazioni sulla presenza di strutture sepolte e sulla loro posizione, in modo da orientare gli scavi sia concentrandoli nei punti reputati di maggiore interesse, sia per ottimizzare le risorse economiche a disposizione.

Ogni tecnica d'indagine geofisica si basa sulle differenti proprietà fisiche dei terreni (per es. elettriche nel caso della tomografia elettrica, magnetiche per le prospezioni magnetiche) e di eventuali manufatti presenti. Lo scopo principale è quello di individuare un *target* che presenti una variazione più o meno netta rispetto al terreno inglobante, e che produca pertanto una "anomalia". Poiché non esiste una tecnica geofisica universale utilizzabile in ogni contesto ambientale e che sia efficace al fine di individuare i più disparati *targets*, spesso le varie tecniche vengono impiegate insieme per una migliore lettura del sottosuolo (DI FILIPPO *et al.* 2004; CARDARELLI *et al.* 2008; QUESNEL *et al.* 2011).

In particolare, la tomografia elettrica, tecnica geofisica applicata ad *Alba Fucens* e descritta in questa nota, consente di mettere in evidenza contrasti di resistività elettrica esistenti tra diversi mezzi. La resistività è una grandezza fisica – misurata in Ωm (ohm per metro) – posseduta dai materiali che indica la resistenza incontrata dalla corrente elettrica nell'attraversarli. Tali differenze possono derivare da variazioni litologiche, da un differente grado di compattazione, di porosità, di contenuto in acqua del sottosuolo o, nel caso siano

presenti strutture antropiche sepolte, dall'eventuale contrasto elettrico rispetto al terreno inglobante. La misura avviene attraverso l'immissione di una corrente elettrica nel sottosuolo tramite una coppia di elettrodi infissi in superficie, la quale determina una differenza di potenziale rilevata ai capi di una seconda coppia di elettrodi, anch'essi in contatto diretto col suolo. I valori di corrente circolante e quelli di potenziale conseguenti vengono misurati e memorizzati da una centralina.

Nella tomografia elettrica l'indagine viene effettuata con dispositivi multi-elettrodo, cioè utilizzando un set di elettrodi distribuiti lungo profili lineari sul terreno, con acquisizione di un elevato numero di misure. Il sistema viene gestito in maniera automatica da un programma di acquisizione che viene preimpostato sullo strumento. La realizzazione di una tomografia elettrica consiste in una prima fase di acquisizione dei dati di resistività apparente (che costituiscono una pseudo-sezione di resistività) e di una successiva fase di inversione dei dati per ottenere i valori di resistività reale del terreno. Il valore misurato dallo strumento, infatti, si definisce apparente poiché dipende dalle caratteristiche elettriche dei vari strati attraversati dalla corrente, dai loro spessori (FINOTTI *et al.* 2000), oltre che da un fattore geometrico (k) determinato dal tipo di *array* impiegato. La profondità di indagine dipende dalla lunghezza del profilo realizzato, con un rapporto profondità/lunghezza totale stendimento di circa 1/6.

Nel presente lavoro i dati acquisiti sono stati elaborati mediante il *software Res2Dinv* (LOKE, BARKER 1996) che utilizza il metodo di inversione dei minimi quadrati. Per le misure di tomografia elettrica sono stati utilizzati sia il dispositivo elettrodo tipo *Wenner*, che consente di osservare le variazioni verticali nel sottosuolo con un buon rapporto segnale/rumore, sia il dipolo-dipolo che fornisce maggiori informazioni sulle nette variazioni laterali di resistività.

In questo studio si è voluto valutare il contributo di questa tecnica d'indagine geofisica alla conoscenza del sottosuolo in due casi differenti nell'area di *Alba Fucens*.

Piazzale del santuario di Ercole

Le misure di tomografia elettrica sono state effettuate nel piazzale del santuario di Ercole (*fig. 1*), dove erano in corso gli scavi, utilizzando un georesistivimetro Syscal R2 della Iris Instruments, dotato di un sistema a 64 elettrodi con una disposizione elettrodica di tipo *Wenner* e con una spaziatura tra gli elettrodi di 1 m. Il profilo tomografico (AB) si sviluppa a partire da una quota di circa 954 m s.l.m., non presenta significative variazioni topografiche e raggiunge una profondità di circa 10 m.

Nella *fig. 2* viene rappresentato il risultato dell'elaborazione dei dati. I valori riscontrati sono caratterizzati da un intervallo di resistività medio-basse, dai 5 ai 30 Ωm circa, tipiche di litologie argillose e siltoso argillose in accordo con le informazioni derivanti da alcuni sondaggi geognostici effettuati nell'area del piazzale

¹⁴ Le indagini sono state condotte in collaborazione con il funzionario archeologo dott.ssa E. Ceccaroni.



fig. 1 – *Alba Fucens*. a) Ubicazione del profilo di tomografia elettrica nell'area del piazzale del Santuario di Ercole; b) panoramica dell'area del piazzale ed operazioni di stendimento del profilo geoelettrico sul terreno; in primo piano è visibile la strumentazione (Iris Instruments) e sullo sfondo il gruppo di lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

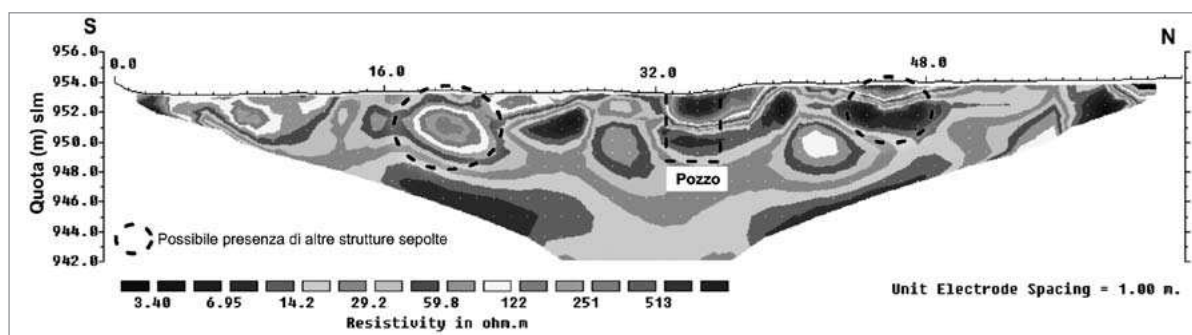


fig. 2 – *Alba Fucens*. Sezione elettrostratigrafica del piazzale del Santuario di Ercole (profilo A-B) in prossimità del pozzo. Profilo eseguito con 64 elettrodi, passo 1 m, configurazione elettroica Wenner. Elaborazione dei dati eseguita mediante software Res2Dinv. RMS error del 7 %. Le linee tratteggiate in nero ed in rosso indicano rispettivamente l'anomalia di resistività del pozzo e altre anomalie riscontrate lungo lo stendimento.

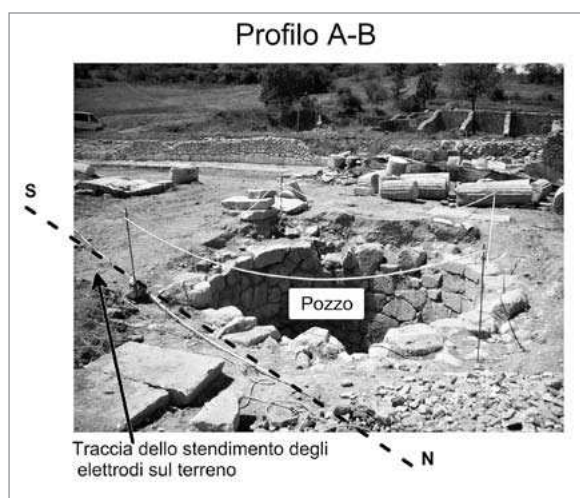


fig. 3 – *Alba Fucens*. Ubicazione del profilo A-B in corrispondenza del pozzo all'interno del piazzale del Santuario di Ercole. La linea tratteggiata indica la traccia dello stendimento degli elettrodi effettuato sul terreno.

(GALADINI 2013). Il profilo è stato realizzato in modo da far corrispondere la parte centrale dello stendimento con il pozzo, cercando in questo modo di definire completamente l'anomalia di resistività a questo associata. Lungo tutto il profilo, nei primi 4 m di profondità, l'indagine geofisica ha messo in evidenza una serie di anomalie. In particolare nella zona centrale si osserva un forte contrasto di resistività con valori massimi che raggiungono 500 Ωm circa, da mettere in relazione con la presenza del pozzo, già scavato fino ad una profondità di circa 3 m. Dal modello ottenuto si evince inoltre che il pozzo si potrebbe sviluppare almeno fino ad una profondità dell'ordine dei 6 m. Tuttavia, la parte inferiore, ancora non scavata, potrebbe presentare una maggior quantità di sedimenti argillosi e/o di materiale di varia natura a granulometria più fine, in grado di giustificare i valori di resistività più bassi nel modello elettrostratigrafico ottenuto. È importante sottolineare che, per quanto concerne il limite inferiore, l'anomalia

osservata rimane comunque di difficile interpretazione, per ragioni intrinseche al metodo di acquisizione e anche in considerazione del fatto che la sezione realizzata non ha potuto attraversare ortogonalmente il manufatto, pur mantenendosi assai prossima ad esso (fig. 3). Ciò, in sostanza, può comportare che la profondità stimata dell'anomalia sia inferiore alla profondità reale del manufatto.

Oltre all'anomalia associata alla presenza della cavità, se ne evidenziano altre due. Una è ubicata più a Sud rispetto al pozzo, presenta valori massimi di circa 250 Ωm e potrebbe essere riferibile ad una struttura muraria, poco profonda, orientata circa Est-Ovest. L'altra presenta invece caratteristiche molto simili a quelle riscontrate in prossimità del pozzo e pertanto potrebbe anche definire una struttura analoga, ma di dimensioni inferiori. Si deve infine notare che l'assetto elettrostratigrafico è in accordo con i risultati dei citati sondaggi geognostici effettuati nell'area del piazzale (GALADINI 2013).

Area a Ovest del santuario di Iside (in prossimità della strada che conduce al cimitero)

Sono state eseguite misure di tomografia elettrica anche nell'area a Ovest del santuario di Iside, in un terreno per il quale non sono disponibili notizie sulla possibile presenza di strutture sepolte. Un primo profilo geoelettrico (CD, fig. 4) è stato realizzato con l'impiego di 64 elettrodi spazati di 1 m, con dispositivo elettroico di tipo dipolo-dipolo; un secondo, di seguito a questo (EF, fig. 4), è stato realizzato invece con dispositivo elettroico *Wenner*. Questo secondo profilo è stato spinto a maggiore profondità anche per avere informazioni sulla sequenza stratigrafica dell'area.

Tenendo presente anche il potere risolutivo di questa metodologia geofisica, nella sezione relativa al profilo CD (fig. 5) si osserva una serie di zone maggiormente resistenti a sviluppo verticale che possono essere attribuite alla presenza di strutture murarie e che sembrano essere in continuità con quelle esistenti a Nord/Ovest. Tra queste, in alcuni punti, emergono zone resistenti

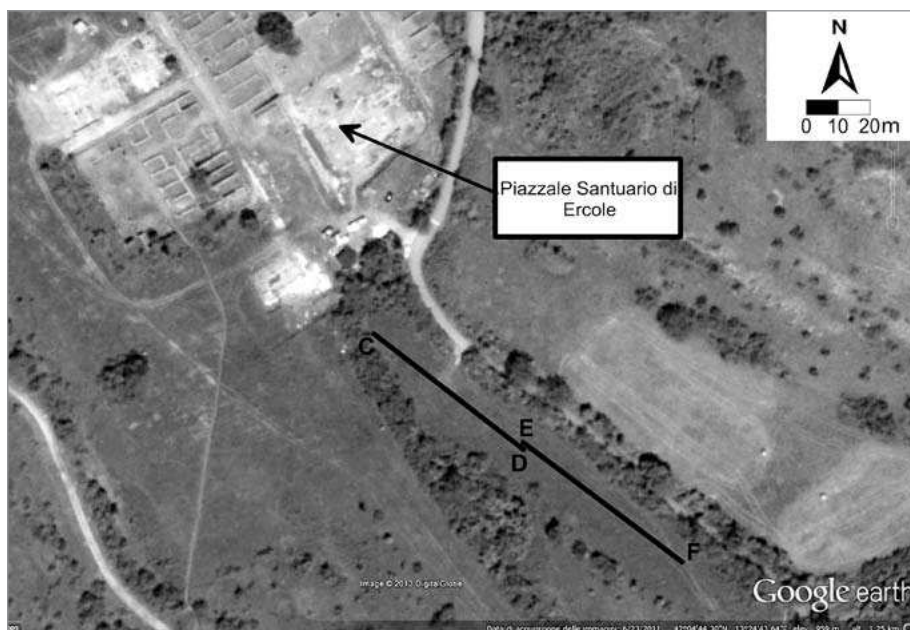


fig. 4 – *Alba Fucens*. Ubicazione dei profili di tomografia elettrica nell'area ad ovest del Santuario di Iside, in prossimità della strada del cimitero.

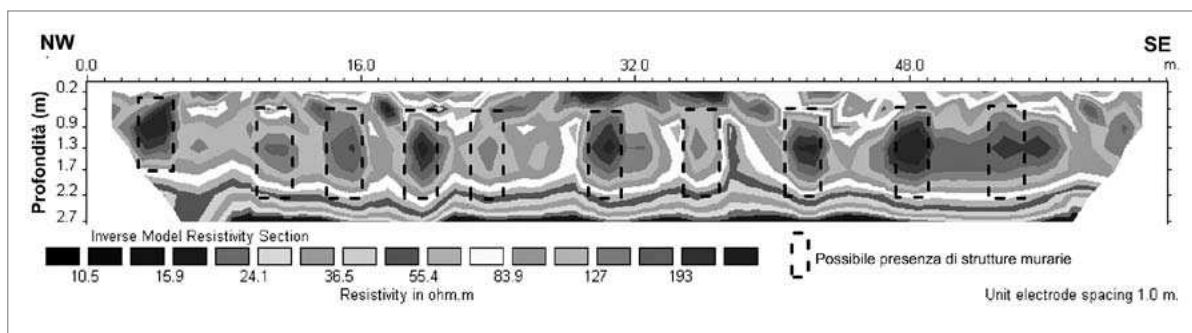


fig. 5 – *Alba Fucens*. Sezione elettrostratigrafica (profilo C-D). Le linee tratteggiate in nero evidenziano una serie di anomalie di resistività riscontrate lungo lo stendimento, forse attribuibili a strutture murarie.

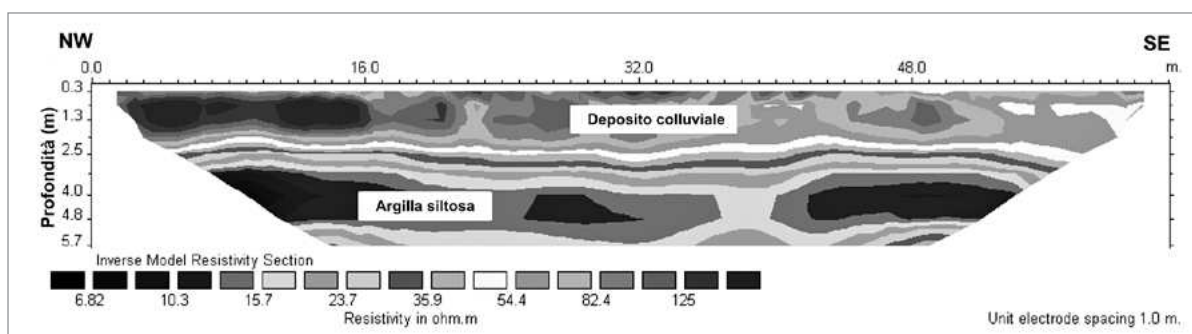


fig. 6 – *Alba Fucens*. Sezione elettrostratigrafica (profilo E-F). Rapporti stratigrafici tra le formazioni litologiche presenti.

a prevalente sviluppo orizzontale forse attribuibili a resti di pavimentazione. Le zone resistive verticali nel profilo successivo (EF, fig. 6) sembrano attenuarsi dopo pochi metri, mentre si osserva chiaramente la differenza di resistività tra il deposito costituito da colluvio e ghiaie più superficiale, dove si collocano le strutture

murarie ipotizzate, e lo strato sottostante più conduttivo riferibile a una formazione argilloso-siltosa che dovrebbe svilupparsi almeno fino a 5 m di profondità.

Da notare che l'elettrostratigrafia osservata in questa sezione è ben differente da quella ottenuta dal profilo AB accanto al pozzo.

Conclusioni

I rilievi geofisici di tipo geoelettrico eseguiti nel sito archeologico di *Alba Fucens* hanno fornito utili indicazioni sull'assetto del sottosuolo in due contesti differenti.

Nell'area del piazzale del santuario di Ercole si può ipotizzare che il pozzo presente potrebbe estendersi ulteriormente di almeno 3 m in profondità rispetto a quanto già scavato al momento dell'indagine geofisica. Ad ogni modo, tenendo conto dei problemi di acquisizione e del fatto che la sezione indagata non poteva attraversare il manufatto, non si esclude che la profondità dell'anomalia associata al pozzo rappresenti un valore minimo e che questo possa essere leggermente più profondo rispetto a quanto visibile sulla sezione elettrostratigrafica (fig. 2).

Nell'area ad Ovest del santuario di Iside, sono state individuate alcune aree anomale caratterizzate da valori più elevati di resistività rispetto al terreno inglobante. Queste, anche in funzione della loro geometria e disposizione nel sottosuolo, potrebbero essere correlate a tracce murarie e a probabili pavimentazioni presenti in un'area non ancora interessata dagli scavi archeologici.

Inoltre, dalle tomografie eseguite si nota come la disposizione a strati piano-paralleli osservata nel profilo CD (strada del cimitero) non si ritrovi affatto nel profilo AB (piazzale del santuario). Ciò potrebbe essere imputabile ad un forte rimaneggiamento dei primi metri del sottosuolo dovuto probabilmente a più consistenti interventi antropici nell'area del piazzale.

VINCENZO SAPIA, MARCO MARCHETTI,
EMANUELA FALCUCCI, FABRIZIO GALADINI,
STEFANO GORI, MARCO MORO

Bibliografia

- CARDARELLI *et al.* 2008 = CARDARELLI E., FISCHANGER F., PIRO S., *Integrated geophysical survey to detect buried structures for archaeological prospecting. A case-history at Sabine Necropolis (Rome, Italy)*, in "Near Surface Geophysics" 6, pp. 15-20.
- DI FILIPPO *et al.* 2004 = DI FILIPPO M., DI NEZZA M., MARCHETTI M., TORO B., URBINI S., *Prospezioni geofisiche lungo le vie Appia Antica e Severiana*, in *Le vie romane del Mediterraneo*, Programma "Interreg IIIB – MEDOCC", pp. 29-49.
- FINOTTI *et al.* 2000 = FINOTTI F., ILICETO V., SALAZZARI L., *Capacità risolutive di differenti dispositivi elettrodici nell'ambito del sistema ERS (electrical resistivity system) sperimentazione su modelli ridotti*, in "Annali del Museo civico di Rovereto" 16, pp. 353-360.
- GALADINI F. 2013, *Il Piano della Cività pre-Alba Fucens. Indicazioni da sondaggi geognostici nel settore meridionale dell'area archeologica*, in *RendPontAcc.* LXXXV, Roma, pp. 279-293.
- LOKE M.H., BARKER R.D., 1996, *Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method*, in "Geophysical Prospecting" 44, pp. 131-152.
- QUESNEL *et al.* 2011 = QUESNEL Y., JRAD A., MOCCI F., GATTA-CECA J., MATHÉ P.E., PARISOT J.C., HERMITTE D., DUMAS V., DUSSOILLEZ P., WALSH K., MIRAMONT C., BONNET S., UEHARA M., *Geophysical Signatures of a Roman and Early Medieval Necropolis*, in "Archaeological Prospection" 18, pp. 105-115.
- SASAKI Y. 1992, *Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation*, in "Geophysical Prospecting" 40, pp. 453-463.

Barisciano (AQ). Nuova necropoli in loc. Pienze

Nel luglio del 2011 la ditta Asd S.A.M di L'Aquila ha realizzato piccoli lavori di scavo per la costruzione del parco avventura "Adventure Gang" su un terreno adiacente alla S.S. 17, presso il km 47.600, in loc. Pienze, nel comune di Barisciano (AQ).

Un sopralluogo effettuato sul sito da chi scrive ha permesso di rilevare la presenza nell'area di sepolture, una delle quali parzialmente intaccata dalle lavorazioni già effettuate. Conseguentemente sono stati presi accordi con la ditta per il recupero della tomba e per un ampliamento dello scavo, volto a verificare la presenza di altre, eventuali, preesistenze archeologiche.

Il 20 luglio 2011 è stata scavata la t. 1, la sepoltura individuata in sezione e tagliata all'altezza dei femori, di cui si fornisce, di seguito, la scheda. Ampliando l'area limitrofa con i mezzi meccanici sono state individuate le tracce di altre tombe, presso una delle quali, indicata come t. 2, sono stati recuperati alcuni frammenti ceramici pertinenti ad uno *skyphos* e ad una coppa in ceramica a vernice nera. Le altre sepolture individuate non sono state indagate ma solo posizionate sulla planimetria del parco e ricoperte, dato che nell'area non erano previsti ulteriori lavori di scavo.

Successivamente sono stati seguiti anche gli scavi per la costruzione di pilastri, poco grandi e poco profondi (circa 80 cm di lato, per una profondità variabile da 40 ai 50 cm), per una tensostruttura; tutti e dieci i saggi si sono rivelati privi di testimonianze archeologiche.

Seppur esigui, i dati raccolti costituiscono la testimonianza dell'esistenza di una ulteriore necropoli – della quale è stato, verosimilmente, individuato il settore più recente (IV-I sec. a.C.) – che si va ad aggiungere ad un panorama già ricco, quale è quello delle conoscenze dei costumi funerari dei Vestini Cismontani.

Tomba 1

Descrizione: sepoltura di età ellenistica a fossa semplice, scavata nel banco di breccia, orientata Est-SudEst/Ovest-NordOvest.

Dati antropologici: inumato di età adulta, in posizione supina, orientato in senso Est-SudEst/Ovest-NordOvest, con le braccia parallele disposte lungo i fianchi. Resti antropologici in connessione anatomica conservatisi fino al bacino a causa dell'azione dei mezzi meccanici. *Dati archeologici*: la coppa in ceramica a vernice nera n. 1 era deposta sul lato destro, tra la testa e la spalla; il resto del corredo superstita era invece collocato sul lato sinistro, tra l'addome (balsamari in ceramica nn. 2 e 3) e il bacino (coppa n. 4, al cui interno c'erano la pisside in ceramica a vernice nera n. 5 e la lucerna n. 6, entrambe di piccole dimensioni).

Corredo

1. Coppa in ceramica a vernice nera.

Labbro arrotondato, orlo introflesso, parete in continuità con la vasca a profilo pressoché rettilineo, piede ad anello.